

SECUESTRO DE CARBONO EN SISTEMAS AGRICOLAS DEL VALLE DE LERMA (SALTA)

Silvina Manrique¹, Judith Franco², Virgilio Núñez³, y Lucas Seghezze²

Instituto de Investigación en Energía No Convencional (INENCO); Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo (IRNED), Facultad de Ciencias Naturales.

Consejo de Investigaciones de la UNSa. (CIUNSA)

Universidad Nacional de Salta. Avda. Bolivia 5150, A 4408 FVY Salta, Argentina

Tel.: 0387-4255533 – E-mail: silmagda@unsa.edu.ar

RESUMEN

Los principales sistemas agrícolas del Valle de Lerma -cultivos de tabaco (Virginia y Criollo) y en algunas zonas el cultivo de ají- han sido cuantificados en su potencial capacidad de secuestro de carbono en la fracción aérea de la biomasa (sobre el nivel del suelo). Estos cultivos realizan un aporte diferencial a la biomasa total agrícola del Valle de Lerma, siendo el tabaco Virginia el que realiza los mayores aportes (96%). Para un peso promedio de plantas (3606 g, 2638 g y 345 g, para tabaco Virginia, Criollo y ají, respectivamente) y la mayor densidad de plantación (20.000 individuos/ha y 40.000 individuos/ha, para tabacos y ají), los cultivos estudiados realizan el siguiente secuestro de C: 5,70 tC/ha (Virginia), 4,1 tC/ha (Criollo) y 0,72 tC/ha (ají). Los resultados proporcionados permitirán un cálculo sencillo y veloz, cuando sea necesario estimar las emisiones de C, o aún cuando exista interés en el manejo de la biomasa de dichos cultivos con diferentes fines.

PALABRAS CLAVE: secuestro de carbono, gases efecto invernadero, biomasa, tabaco, ají, Valle de Lerma.

1. INTRODUCCION

El cambio climático mundial es uno de los temas clave de la agenda mundial. Durante la última centuria, la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera ha incrementado desde 280 p.p.m. (partes por millón) a 367 p.p.m. (IPCC, 2001). El sector de uso y cambio de uso de la tierra es la segunda fuente más importante de emisiones de CO₂, debido a que los bosques han sido y están siendo convertidos a agricultura, ganadería y otras formas de uso de la tierra (DeFries et al., 2002).

El CO₂, con más de 334.000 p.p.m.v. (partes por millón en volumen) -más de 200 veces la concentración del siguiente gas de efecto invernadero (GEI), el metano- y una tasa de incremento anual de 0,4% es el principal GEI (IPCC, 2007). Su “secuestro” o reincorporación al sumidero biosférico, se ha contemplado como un factor clave en la mitigación del calentamiento global. Los mecanismos más importantes para lograr esto son: a) retención en el suelo y biomasa gracias al intercambio gaseoso de las plantas (el carbono es el 50% de la biomasa) y b) retención por vegetales marinos en un proceso similar. En este espectro cobran importancia las grandes fitomasas y sus capacidades fotosintéticas, y las demás alternativas de uso de la tierra, como sumideros potenciales. El estudio de ecosistemas y su potencial en el secuestro de carbono se sustenta en ello (Tsukamoto Filho, 2003). Numerosos autores estimaron la biomasa y carbono (C) de diferentes ecosistemas del mundo y concuerdan en que el secuestro de C es mayor en zonas tropicales, seguida por regiones templadas y luego boreales (Houghton y Skole, 1990; Brown, 1997; Houghton, 2005; Keith et al., 2009).

La producción y acumulación de biomasa es la respuesta de las plantas a las condiciones bióticas y abióticas de su medio. La biomasa de plantas es por esto de fundamental importancia para el entendimiento y manejo de los ecosistemas, ya sea para favorecer la producción primaria, el pool de nutrientes, las especies dominantes, las respuestas experimentales de manipulación, o el secuestro y acumulación de C. Los cambios en la estructura y composición de vegetación son a menudo acompañados por cambios en la biomasa (Northup et al., 2005). Los ecosistemas tropicales en general, y los bosques en particular, pueden acumular una gran cantidad de carbono en la biomasa. Foley et al. (2005); Carvalho et al. (2008) y Apezteguia et al. (2009) y otros, mencionan que la conversión de vegetación nativa a tierras agrícolas causa una importante pérdida de carbono del ecosistema, junto a otros efectos negativos que pueden socavar la capacidad de los ecosistemas de sustentar la producción alimenticia, el mantenimiento de los recursos hídricos y forestales, regulación del clima y calidad del aire, proliferación de enfermedades infecciosas y potencial pérdida de biodiversidad (Foley et al., 2005).

Pfaff et al. (2000) agregan que las prácticas de manejo también juegan un rol significativo en la determinación de la magnitud del C almacenado, como por ejemplo, aquellas aplicadas después de la conversión de bosques a tierras agrícolas. Dichos autores mencionan que los sistemas fertilizados podrían secuestrar más C desde la atmósfera que los sistemas no fertilizados (Tan et al., 2009; Gong et al., 2009). Sin embargo, en un enfoque integral, se debería medir el efecto total de la fertilización desde una perspectiva amplia, que incluye los costos de C involucrados en la manufactura y distribución de estos fertilizantes (Schlesinger, 2000).

¹ Becaria Doctoral del CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas).

² Investigador Adjunto CONICET. Instituto de Investigación en Energía No Convencional (INENCO).

³ Director Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo (IRNED).

Otro ejemplo, es que los sistemas que combinan árboles y pasturas (silvopastoriles), podrían almacenar más C que los sistemas que sólo tienen pasturas (Andrade e Ibrahim, 2003). Por esto, para explicar el almacenamiento de C la información sobre ambos aspectos: cobertura de la tierra y uso de la tierra, es esencial. Tsukamoto Filho (2003) comprueba que los sistemas agrosilvopastoriles consiguen fijar mayor cantidad de C que los monocultivos o pastizales a cielo abierto. La agroforestería puede incrementar el secuestro de C sobre tierras agrícolas mediante el fortalecimiento y la ampliación de barbechos forestales y la adición de cultivo de leñosas perennes y especies madereras a las explotaciones agrícolas (Oelbermann et al., 2004). En sistemas que incorporan elementos arbóreos, Sochacki et al. (2007) muestran que tanto la densidad de vegetación como la posición de los árboles en el paisaje, influyen en el rendimiento de biomasa y por tanto en el secuestro de C. Hay mayor rendimiento cuando hay mayor densidad de biomasa y cuando los árboles se encuentran establecidos en sitios de menores pendientes, posiblemente por mayor disponibilidad de agua y nutrientes provenientes de partes altas (Fang et al., 2007).

Los contenidos de C en el suelo dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo pero pueden ser fuertemente modificados – degradados o mejorados- por los cambios en el uso y el manejo de las coberturas de la tierra (Ashagrie et al., 2007). Abril y Bucher (1999) y Bonino (2006) observan que en la región de Chaco, por ejemplo, el sobrepastoreo y degradación del suelo rápidamente eliminan las condiciones de humedad, cambiando el sistema a un ambiente desértico, donde la pérdida de C es inevitable. Bajo el bosque prístino del Chaco, dado la sombra y alto contenido de materia orgánica que actúa como un buffer a la desecación del suelo, el carbono orgánico de suelo es mayor. Bonino (2006) observó que las diferencias en el stock de C de suelo de tres comunidades con diferentes niveles de manejo, fueron principalmente resultado de la biomasa de la vegetación sobre su superficie.

Así, por tanto, las diferentes coberturas y usos de suelo tienen un papel diferente en la mitigación del cambio climático. Sin embargo, los ecosistemas deben responder no sólo a las demandas actuales de mitigación de GEI y secuestro de C, sino también a la satisfacción de las necesidades básicas de la población en las diferentes regiones del mundo (Maser et al., 1997). Por tanto, estrategias integrales pueden ser desarrolladas desde el punto de vista de la mitigación de emisiones de GEI, pero que impliquen la consideración de otros aspectos como: bioenergía, preservación de biodiversidad natural y cultural, oportunidades de desarrollo local y de mejora en la calidad de vida rural, entre otros.

La región del Valle de Lerma, en la provincia de Salta, está siendo estudiada en el marco de un futuro ordenamiento territorial que respete y reasigne usos y prácticas que satisfagan las demandas de la región sin afectar la capacidad natural de los ecosistemas (Núñez et al., 2007; Manrique et al., 2008; Belmonte et al., 2009; Manrique et al., 2009a,b,c,d; Manrique et al., 2010a). Este Valle concentra más del 54% de la población provincial, por lo que las potenciales estrategias no pueden descuidar aspectos que apunten a la mitigación de GEI, como así incorporar el empleo de fuentes de energía renovables, que reduzca esas emisiones. Los bosques nativos del Valle, muestran un alto potencial en el secuestro de C para la zona (Manrique et al., 2009a,d; Manrique et al., en prensa) y en especial, algunas formaciones vegetales naturales podrían ser sometidas a planes de manejo que permitan aprovechar –además- su potencial bioenergético (Manrique et al., 2009c). Sin embargo, y aunque la principal actividad productiva del Valle es el cultivo del tabaco, existiendo alrededor de 20.000 ha cultivadas por año, no existen referencias previas con respecto a su rol en la mitigación de GEI. Este es, por tanto, el objetivo del presente trabajo: estimación del potencial secuestro de Co de los principales sistemas agrícolas del Valle (tabaco Virginia, Criollo y en un rol secundario, Aji).

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Área de estudio

La zona de estudio seleccionada, el Municipio de Coronel Moldes (departamento La Viña, provincia de Salta), se ubica en el sur del Valle de Lerma, a 60 km aproximadamente de la capital provincial. Dicho municipio tiene una superficie total de 840 km². La altitud media es de 1.100 y 1.200 m.s.n.m. El clima es templado serrano, con una precipitación anual de alrededor de 500 mm anuales con una fuerte concentración de las mismas entre los meses de diciembre y marzo. La temperatura media anual es de 17,9°C. Trabajos previos en la zona han definido una superficie promedio cultivada con tabaco de 608 ha (470 ha de tabaco Criollo y 138 ha de tabaco Virginia) y casi 70 ha de ají (Manrique et al., 2008).

2.2. Toma de muestras

Reconociendo que en el municipio seleccionado para los muestreos existía una importante superficie de cultivo de ají, éste fue muestreado junto con los cultivos de tabaco (variedades Criollo y Virginia). Se realizó un muestreo de tipo aleatorio, en un 10% de la superficie ocupada con cada uno de los cultivos, con una intensidad de muestreo de 0,01% para tabaco Criollo, y 0,02% para tabaco Virginia y ají. La cantidad de plantas recolectadas en la superficie de muestreo fue de 50 plantas de tabaco Criollo, 50 plantas de tabaco Virginia y 25 plantas de ají. El muestreo consistió en recolectar la planta antes de la cosecha, cuando el cultivo se hallaba en pie cercano a la época de derribe de las plantas o de colecta de sus hojas. Se cortaron las plantas al ras del suelo, obteniéndose inmediatamente el peso total de cada una (sin raíces). Luego del pesado, las muestras fueron embolsadas, etiquetadas y llevadas al laboratorio para ser secadas. En las recorridas a campo, las consultas con los productores en cada caso, permitieron conocer las densidades de plantación de cada cultivo.

2.2. Procesamiento de muestras

En laboratorio, todas las muestras colectadas en el campo fueron secadas en estufa graduada a 100°C ± 5 °C hasta obtener peso constante. Se obtuvieron los factores de conversión de peso fresco (PH) a peso seco (PS) o el contenido de materia seca, para obtener así la materia seca (Ec. 1) y luego la biomasa (Ec. 2). Finalmente, para estimar el C almacenado se utilizó la Ec.3.

$$MS\% = (PS / PH) \times 100$$

Ec.1

Donde: MS%= porcentaje de materia seca; PS= peso seco de la muestra (g); PH= peso fresco de la muestra (g).

$$B = (PH \times \%MS) / 100$$

Ec.2

Donde: B=biomasa de la planta (kg o g); PH= peso fresco de la planta (kg o g); MS%= porcentaje de materia seca.

$$CA = Bt \times FC$$

Ec.3

Donde: CA=carbono almacenado (kg o t); Bt=biomasa total (kg, t); FC=fracción de carbono.

La fracción de carbono utilizada fue de 0,5. Este valor es el recomendado para realizar estimaciones de contenido de carbono en diferentes escenarios naturales y agrícolas, en el caso de que no haya datos disponibles (IPCC, 1996).

2.3. Análisis de los datos

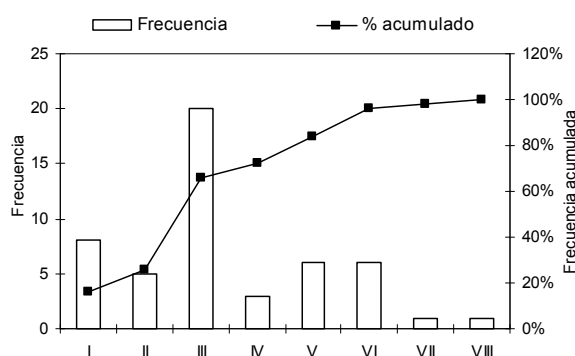
Una vez obtenido el porcentaje de MS de los distintos cultivos, el rango de pesos posibles de las plantas, y la densidad de plantación en la zona, se estimó la potencial biomasa (en toneladas de peso seco por hectárea) posible de hallarse.

El procesamiento de estos datos permitió hallar las ecuaciones para predecir la biomasa por unidad de superficie, variando la densidad de plantación en tres situaciones posibles conocidas, que por otra parte, se observó que se encontraban mencionadas para otros sitios del Valle. Se analizaron los ajustes de las observaciones de peso seco de laboratorio, con respecto a los valores de peso seco estimados a través del %MS utilizado para el cálculo de las ecuaciones halladas. Test estadísticos no paramétricos (Mann-Whitney) fueron aplicados con un nivel de significancia de 95%. Mediante histogramas de frecuencias se representaron las distribuciones de pesos de las plantas de cada cultivo, y se calcularon los promedios en cada caso. Con valores de densidad de plantación intermedios y de peso por planta, se estimó la biomasa de cada cultivo, por unidad de superficie como así en la superficie total del Valle donde se encuentran cultivados. Por último, se estimó el potencial secuestro de carbono por ha, como así la captura total realizada por los sistemas agrícolas en el Valle. Nuevas ecuaciones de predicción de tC/ha en función de densidades de plantación diferentes, fueron estimadas. Debe considerarse que todas las estimaciones de C, sólo reflejan el secuestro de la fracción aérea de cada cultivo.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Porcentaje de materia seca (%MS) en los tejidos vegetales

El promedio de %MS y su correspondiente intervalo de confianza para tabaco Criollo es de 15,37 %MS ($\pm 4,15$) con una confianza del 95%. La mayor frecuencia se presenta en la clase III (15,1-16 %MS), mientras que el 84% de los datos están concentrados entre 12 y 18% de contenido de materia seca (Fig.1).

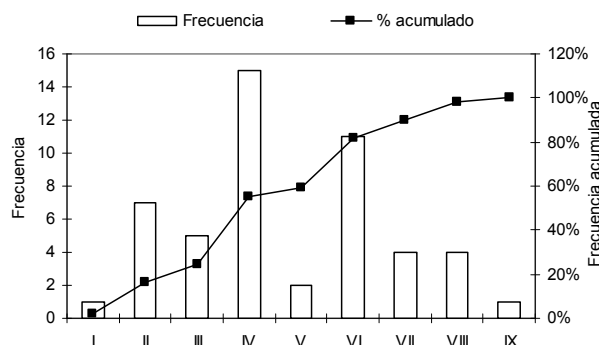


Referencias:
(% MS de plantas de tabaco criollo):

- Clase I: 12 a 14
- Clase II: 14,1 a 15
- Clase III: 15,1 a 16
- Clase IV: 16,1 a 17
- Clase V: 17,1 a 18
- Clase VI: 18,1 a 19
- Clase VII: 19,1 a 20
- Clase VIII: 20,1 a 22

Figura 1. Distribución de plantas de tabaco Criollo según el porcentaje de materia seca.

En el caso de tabaco Virginia, el promedio es de 15,75 %MS ($\pm 4,85$) (intervalo de confianza de 95%). Casi el 85% de los datos corresponden al rango 12-18 %MS. La mayor frecuencia se encuentra en la clase IV, con un porcentaje de materia seca de 15,1 a 16 %, similar a lo observado con el tabaco Criollo (Fig.2).



Referencias:
(% MS de plantas de tabaco Virginia):

- Clase I: 12 a 13
- Clase II: 13,1 a 14
- Clase III: 14,1 a 15
- Clase IV: 15,1 a 16
- Clase V: 16,1 a 17
- Clase VI: 17,1 a 18
- Clase VII: 18,1 a 19
- Clase VIII: 19,1 a 20
- Clase IX: 20,1 a 22

Figura 2. Distribución de plantas de tabaco Virginia según el porcentaje de materia seca.

En el caso de ají (Fig. 3), el promedio es de 10,51 %MS ($\pm 6,96$) ($p=0,05$). La mayor parte de los datos (83%) corresponden al rango 6,1 a 17%MS. Se observa una mayor dispersión de los datos, posiblemente por diferencias en variedades locales. La mayor frecuencia de los datos se registra en la clase II (de 9,1 a 13% de MS).

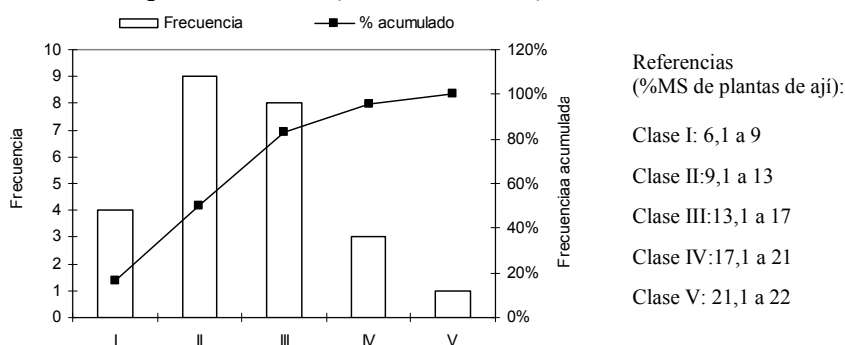


Figura 3. Distribución de plantas de ají según el porcentaje de materia seca.

Una vez obtenidos los %MS promedio de cada cultivo, estos valores se aplicaron para el cálculo de peso seco de cada una de las plantas, a partir de datos de peso fresco registrados en campo. Los test estadísticos no revelan diferencias significativas entre las observaciones de peso seco de laboratorio (secado en estufas) y los valores estimados a partir de la media de % MS utilizada para hallar las ecuaciones que se muestran en el apartado 3.3. Los estadísticos para cada cultivo son:

- tabaco Criollo: $p=0,98$ y $U=2806$.
- tabaco Virginia: $p=0,99$ y $U=612$.
- ají: $p=0,2$ y $U=503$.

3.2. Peso promedio de las plantas

El peso de las plantas frescas (o peso húmedo, PH) a campo varía en ciertos rangos para cada cultivo. Las distribuciones de frecuencias se muestran en las siguientes figuras (Fig.4 a 6).

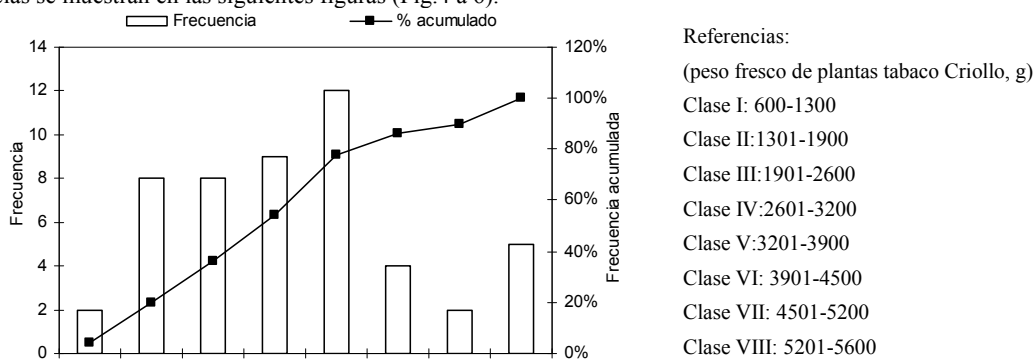


Figura 4. Distribución de plantas de tabaco Criollo según el peso húmedo (gramos).

Para tabaco Criollo, como se observa en la Fig.4, el 54% de las plantas tiene un peso fresco total de menos de 3200 g, en un rango de 600-3200 g. El 78% de las plantas, pesa menos de 3901 g y el 86% de las plantas tiene un peso entre 600-4500 g. La mayor frecuencia se presenta en la clase V, con pesos entre 3,2 y 3,9 kg por planta.

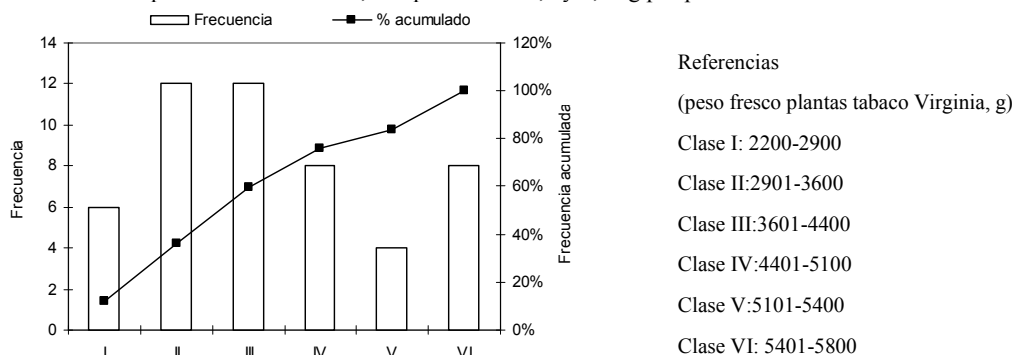


Figura 5. Distribución de plantas de tabaco Virginia según el peso húmedo (gramos).

Las plantas de tabaco Virginia (Fig.5), presentan mayores valores de peso fresco que las de tabaco criollo, con una concentración de casi 60% de las plantas en la categoría de peso 2200-4400 gramos. Posiblemente, los mayores pesos tengan que ver con la composición química de las hojas de tabaco, que para el caso de la variedad Virginia, presentan una mayor cantidad de carbohidratos (constituyen entre 25-50% del total de la materia seca) y de aceites etéreos y resinas (gomas y ceras

que están presentes en la hoja, producto de exudación de pelos glandulares superficiales, y actúan principalmente sobre el aroma) (Felipe, 2003). Las mayores frecuencias se presentan en las clases II y III, con pesos entre 2901-4400 gramos. El 85% de las plantas pesa menos de 5,4 kg.

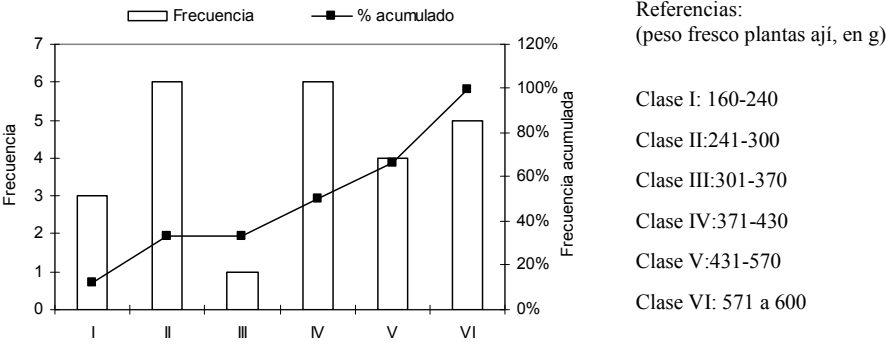


Figura 6. Distribución de plantas de ají según el peso húmedo (gramos). .

En el caso del ají, las plantas son más pequeñas y livianas, con un rango de 160 a 600 gramos muestreados a campo. El 67% de las plantas pesa entre 160 y 570 gramos y el resto (33%) pesa algo más de 571 gramos. Se observa una distribución bimodal, con las mayores frecuencias de registro en las categorías II (241-300 gramos) y clase IV (371-430 gramos). Posiblemente este dibujo refleje dos o más variedades diferentes de ají cultivado (Fig.6).

3.3. Ecuaciones de predicción de biomasa (t/ha) en función del PH

Para cada cultivo, se estimaron las ecuaciones de relación entre el peso fresco o húmedo (PH) de las plantas y el valor de biomasa correspondiente (en peso seco por ha), variando la densidad de plantación. A modo de ejemplo, la Fig.7 fue realizada para el tabaco Criollo, con una densidad de plantación de 16.000 plantas por ha.

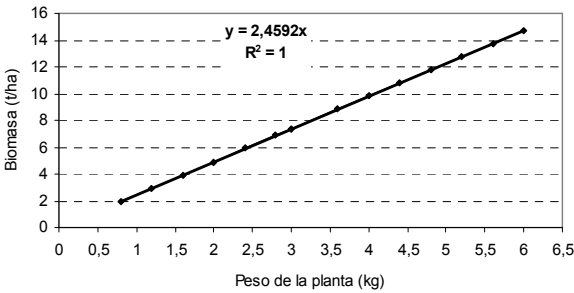


Figura 7. Ejemplo de ecuación de predicción de biomasa con función lineal, obtenida a partir del peso fresco de la planta (densidad de plantación: 16.000 plantas por ha).

Las ecuaciones halladas se ajustan con un $r^2=1$ a una función lineal. Se obtuvieron tres ecuaciones para cada variedad de cultivo (nueve ecuaciones en total), variando las densidades de plantación. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Cultivo	Densidad (ind/ha)	Ecuación	Variables
Tabaco Criollo	16.000	$Y=2,4592 x$	Y=biomasa (t/ha) X=peso de la planta (kg)
	18.000	$Y= 2,7666 x$	
	20.000	$Y= 3,074 x$	
Tabaco Virginia	16.000	$Y=2,52 x$	Y=biomasa (t/ha) X=peso de la planta (gramos)
	18.000	$Y= 2,835 x$	
	20.000	$Y=3,15 x$	
Ají	20.000	$Y= 0,0024x$	Y=biomasa (t/ha) X=peso de la planta (gramos)
	30.000	$Y=0,0032x$	
	40.000	$Y=0,0042 x$	

Tabla 1.Ecuaciones predictivas de biomasa de cada cultivo (t/ha) en función de la densidad de plantación.

3.4. Biomasa de cultivos estudiados en el Valle de Lerma

Para el tabaco Criollo, el valor promedio de peso por planta es de 2638 g. Para el tabaco Virginia, el promedio es de 3606 g por planta, y para el ají, de 345 gramos por planta. Tomando estos valores y los análisis anteriores, se realizaron extrapolaciones de biomasa para el resto del Valle. Para una superficie promedio cultivada de 15.475 ha de tabaco Virginia y 647 ha de tabaco criollo (campañas 94/95 a 03/044), y cerca de 1120 ha de ají (campaña 05/06⁵), la biomasa del cultivo de

⁴ Cámara de Tabaco de Salta, 2006.
⁵ Acerbi, 2006. Ministerio de Economía y Producción.

tabaco Criollo en el Valle de Lerma, oscila –según la densidad de plantación– entre 4.200 a 5.200 toneladas de materia seca en la superficie total promedio cultivada. En el caso de tabaco Virginia, la biomasa total varía desde 140.600 a más de 175.800 toneladas MS. Por último, el aporte de biomasa desde el cultivo de ají, oscila entre 810 a 1.620 toneladas aproximadamente. Claramente, el mayor aporte a la biomasa total desde sistemas agrícolas en el Valle, lo realiza el cultivo de tabaco Virginia, por su mayor superficie cultivada (96% del total). Con densidades de plantación intermedias en cada caso (según Tabla 1), la biomasa (aérea) de cada cultivo en la superficie total cultivada, se observa en la Fig.8 a, mientras que la biomasa en t/ha (peso seco), se muestra en la Fig. 8b.

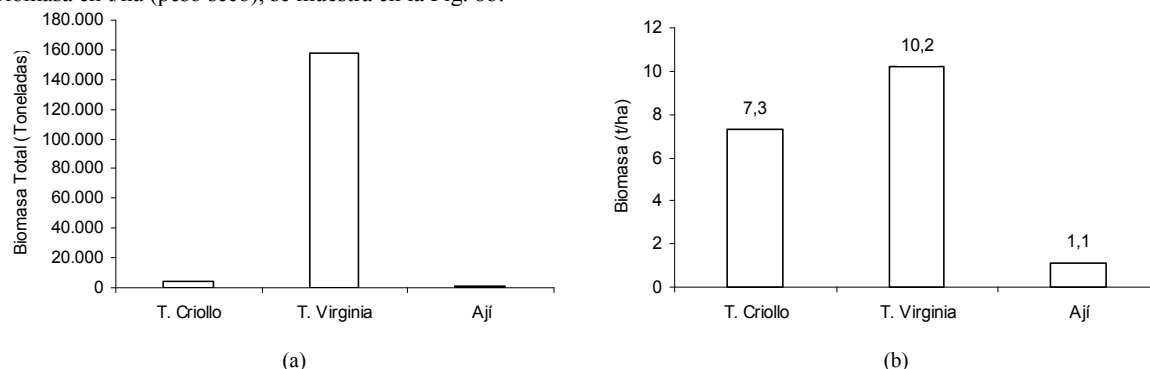


Figura 8. Contribuciones de biomasa de cada cultivo, considerando densidades de plantación intermedias: a) biomasa total en la superficie cultivada del Valle y b) biomasa en t/ha de cada cultivo (ambas en peso seco).

En la relación directa entre biomasa y carbono, lógicamente, que las mayores densidades de plantación de cualquiera de los cultivos considerados, redundará en mayor secuestro de C por ha. Sin embargo, existe un límite en los marcos de plantación posibles, ya que a una densidad mayor que la óptima en cada caso, los rendimientos comenzarán a disminuir, aunque en términos de C resulte más conveniente. Es obvio que en sistemas agrícolas, el objetivo principal perseguido es el de lograr las mayores productividades, a menos que se trate de *cultivos energéticos dedicados* (Manrique et al., 2009c). En este último caso, el objetivo es la cosecha de la mayor cantidad de biomasa, por lo que los cultivos se realizan con altas densidades de plantación. Esto puede verse claramente en las relaciones encontradas entre las densidades de plantación y el secuestro de C por ha de cada cultivo, con las ecuaciones halladas en cada caso (Fig.9 a y b y Fig. 10).

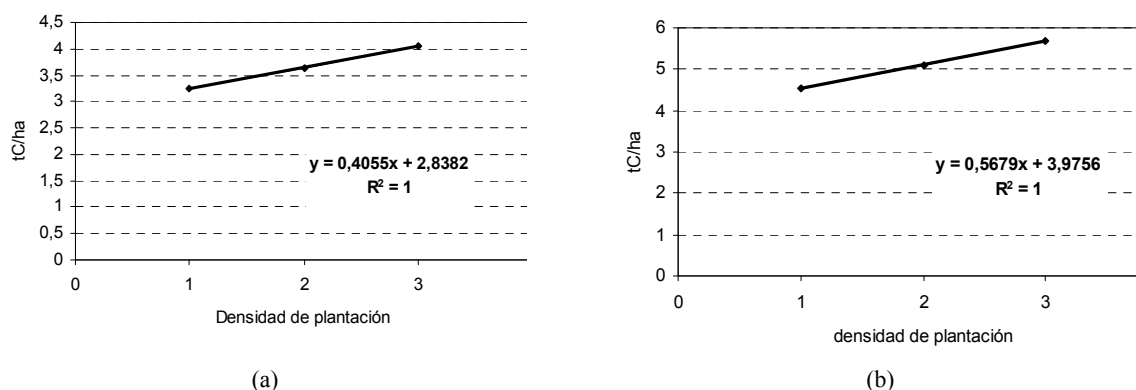


Figura 9. Capacidad de secuestro de C por ha del cultivo de tabaco (a) Criollo y (b) Virginia, en función de las densidades de plantación: 1) 16.000 plantas/ha; 2) 18.000 plantas/ha y 3) 20.000/ha. Se observan las ecuaciones halladas para predecir tC/ha en función de la densidad.

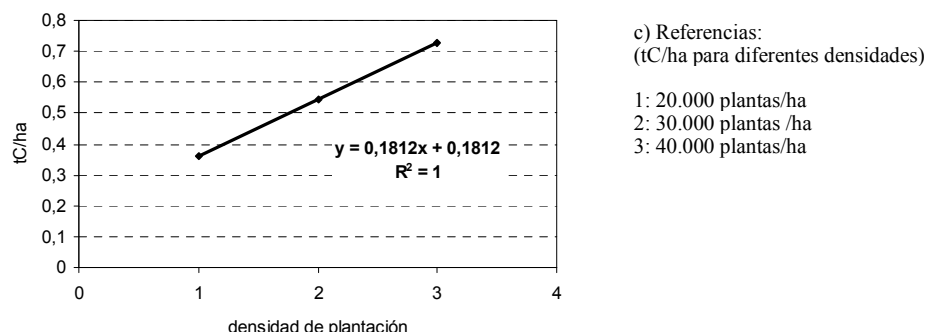


Figura 10. Capacidad de secuestro de C por ha del cultivo de tabaco (a) Criollo y (b) Virginia, en función de las densidades de plantación: 1) 20.000 plantas/ha; 2) 30.000 plantas/ha y 3) 40.000/ha. Se observan las ecuaciones halladas para predecir tC/ha en función de la densidad.

El C total promedio almacenado en los sistemas agrícolas estudiados es de 82.070 tC, siendo el cultivo de tabaco Virginia el que realiza el mayor aporte a este valor (96%), seguido de lejos por el tabaco Criollo (3%) y el de ají (1%). En términos de secuestro de C por unidad de superficie, sin embargo, en la situación de mayor captura (tabaco Virginia, con una densidad de

20.000 plantas/ha), el secuestro alcanza sólo 5,68 tC/ha, lo cual es aún inferior que las referencias dadas para ambientes naturales de la zona en las peores condiciones de conservación (Manrique et al., en prensa). La situación de mínima (cultivo de ají, con la menor densidad: 20.000 plantas/ha), es de apenas 0,36 tC/ha. Por otra parte, por lo menos la mitad de la cantidad de C secuestrado o su equivalente en tCO_2^6 (sobre un total de 300.951 tCO_2), es liberada anualmente a la atmósfera, en cada ciclo de producción (el resto es aprovechado, ya que es utilizado como producto útil, aunque finalmente será quemado al ser consumido como cigarillos). Ya sea con fines energéticos o agrícolas, en función de las prácticas de manejo, la escala, los insumos, las tecnologías, etc., el balance de C total puede llegar a ser cero, si el C liberado por el cultivo es totalmente secuestrado en el próximo ciclo de producción.

Los resultados proporcionados en el presente trabajo son un insumo fundamental en este sentido. Proporcionan una base de datos que permitirá avanzar en estudios de ciclo de vida (ACV) de los cultivos de la zona, logrando conocer estas compensaciones y balances energéticos. Para un panorama completo, sería interesante explorar asimismo el carbono secuestrado bajo el suelo en estos cultivos.

CONCLUSIONES

Los principales sistemas agrícolas del Valle de Lerma, cultivos de tabaco (Virginia y Criollo) y en algunas zonas el cultivo de ají, han sido cuantificados en su potencial capacidad de secuestro de carbono en la fracción aérea de la biomasa (sobre el nivel del suelo). Estos cultivos realizan un aporte diferencial a la biomasa total agrícola del Valle de Lerma, siendo el tabaco Virginia el que realiza los mayores aportes (96%).

Para un peso promedio de plantas (3606 g, 2638 g y 345 g, para tabaco Virginia, Criollo y ají, respectivamente) y la mayor densidad de plantación (20.000 individuos/ha y 40.000 individuos/ha, para tabacos y ají), los cultivos estudiados realizan el siguiente secuestro de C: 5,68 tC/ha (Virginia), 4,05 tC/ha (Criollo) y 0,72 tC/ha (ají). En las situaciones más favorables de captura (mayor peso de las plantas, mayores densidades de plantación, mayores superficies cultivadas), el secuestro de carbono total, se verá favorecido. Aún en estos casos, dado el destino de la producción, la cosecha es inevitable, y por tanto, este C será liberado a la atmósfera. Si es compensado o no en el próximo ciclo de producción por la fijación desde los cultivos, es un aspecto que requiere mayor análisis.

Las ecuaciones predictivas de biomasa (t/ha) a partir de un determinado peso fresco de planta, han sido estimadas. Asimismo, ecuaciones de relación entre secuestro de carbono por ha (tC/ha) y diferentes densidades de plantación. Los resultados proporcionados permitirán un cálculo sencillo y veloz, cuando proyectos de mitigación de C sean desarrollados en el Valle de Lerma, o aún cuando exista interés en el manejo de la biomasa de dichos cultivos con diferentes fines.

AGRADECIMIENTOS

Al CONICET, por la beca doctoral otorgada a la autora principal del presente. A los proyectos 1.345, 1.643 y 1.955 del CIUNSA (Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta). A la Municipalidad de Coronel Moldes, por el apoyo de vehículos y personal de campo. A los auxiliares adscriptos a la tesis doctoral por la valiosa colaboración en la recolección de muestras, toma de datos en campo y secado de material. A la cátedra de Química Orgánica y Biológica por las estufas.

ABSTRACT

The carbon sequestration of the principal agricultural systems of Lerma's Valley, crops of tobacco (Virginia and Criollo) and in some zones chili's crop, have been quantified in this study. The crops realize a differential contribution to the total agricultural biomass of Lerma's Valley, being the tobacco Virginia the one that realizes the major contributions (96 %). For an average weight of plants (3606 g, 2638 g and 345 g, for tobacco Virginia, Criollo and chili, respectively) and the major density of plantation (20.000 individuals/ha and 40.000 individuals/ha, for tobaccos and chili), the crops studied realize the following carbon sequestration: 5,68 tC/ha (Virginia), 4,05 tC/ha (Criollo) and 0,72 tC/ha (chili). The results will allow a simple and fast calculation, when it is necessary to estimate the emission of C, or still when interest exists in the managing of the biomass of the above mentioned crops for different aims.

REFERENCIAS

- Abril, A. Y E.H. Bucher. (1999). The effects of overgrazing on soil microbial community and fertility in the Chaco dry savannas of Argentina. *Applied Soil Ecology* 12: 159-167.
- Acerbi, M. (2006). Informe de Coyuntura Mensual Hierbas aromáticas y especias. Dirección Nacional de Alimentos- Dirección De Industria Alimentaria. Ministerio de Economía y Producción. <http://www.sagpya.mecon.gov.ar>.
- Andrade H.J. y Ibrahim, M. (2003). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?. *Agroforestería en las Américas* 10: 39- 40.
- Apezteguía, H.P, R.C. Izaurralde, R. Sereno. (2009). Simulation study of soil organic matter dynamics as affected by land use and agricultural practices in semiarid Córdoba, Argentina. *Soil and Tillage Research* 102: 101–108.
- Ashagrie Y., Zech W., Guggenberger G. Y T. Mamo. (2007). Soil aggregation, and total and particulate organic matter following conversion of native forests to continuous cultivation in Ethiopia. *Soil and Tillage Research* 94: 101–108.
- Belmonte S., V. Núñez, J.G. Viramonte y J. Franco. (2009). Potential renewable energy resources of the Lerma Valley, Salta, Argentina for its strategic territorial planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13: 1475–1484.
- Bonino, E.E. (2006). Changes in carbon pools associated with a land-use gradient in the Dry Chaco, Argentina. *Forest Ecology and Management* 223: 183–189.
- Brown, S. (1997). Estimating Biomass And Biomass Change Of Tropical Forests.FAO Montes 134.Roma,Italia.55 P.

⁶ 1 tC = 3,667 tCO₂

- Carvalho, C.E.P. Cerri, B.J. Feigl, V.P. Godinho, C.C. Cerri. (2008). Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil Tillage Res.* (2008), doi:10.1016/j.still.2008.10.022.
- DeFries, R.S., et al. (2002). Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 1990s. *PNAS* vol. 99 (22): 14256–14261.
- Fang, S., Xue J. y L. Tang. (2007). Biomass production and carbon sequestration potential in poplar plantations with different management patterns. *Journal of Environmental Management* 85: 672–679.
- Felipe, E.F. (2003). *Constituyentes Químicos Y Elementos De La Calidad Del Tabaco*. Universidad Central De Venezuela. Facultad De Agronomía. Departamento De Agronomía. Manejo Agronómico de Cultivos Tropicales I, Sección tabaco. <http://ftpctic.agr.ucv.ve/intranet/agronomia/cultrop/tema3.doc>.
- Foley, J.A. et al. (2005). Global Consequences of Land Use. *Science* 309, 570-574. DOI: 10.1126/science.1111772.
- Gong, W., Yan X., Wang J., Hu T., Gong Y. 2009. Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat–maize cropping system in northern China. *Geoderma* 149: 318–324.
- Houghton, R. A. and D. L. Skole. (1990). Carbon. In: B. L. Turner, W. C. Clark, R. W. Kates, J. F. Richards, J. T. Matthews, and W. B. Meyer (eds.): *The Earth as transformed by human action*. Cambridge University Press, NY, pp. 393-408.
- Houghton, R.A. (2005). Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance *Global Change Biology* 11, 945–958, doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.00955.x.
- IPCC (Intergubernamental Panel Climate Change). (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación*. Ginebra, Suiza, 104 págs.
- IPCC (Intergubernamental Panel Climate Change). (1996). *Reference Manual And Workbook Of The IPCC 1996 Revised Guidelines For National Greenhouse Gas Inventories*. México.
- Keith, H.; Mackey, B.G. y Lindenmayer, D.B. (2009). Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests. *PNAS* 106 (28): 11635–11640.
- Manrique, S; Franco, J.; Núñez, V. Y L. Seghezzo. (2008). Potencial Energético de Biomasa Residual de Tabaco y Ají En El Municipio De Coronel Moldes (Salta – Argentina). *AVERMA* 12 (6): 87- 94. Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique, S.; Franco, J., Núñez, V. y L. Seghezzo. (2009a). Estimación De Densidad De Biomasa Aérea En Ecosistemas Naturales De La Provincia De Salta. *AVERMA* 13 (6): 37-45. Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique, S.; Franco, J.; Núñez, V. y L. Seghezzo.(2010). Potential of native forests for the mitigation of greenhouse gases in Salta, Argentina. *Revista Biomass and Bioenergy* 2010. En prensa. ISSN: 0961-9534.
- Manrique, S.M.; Franco, J.; Núñez, V. y L. Seghezzo. (2010a). Perspectiva Bioenergética de los Residuos Sólidos Urbanos en el Valle De Lerma. Presentado para la XXXIII Reunión de Trabajo de Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente y XIX Encuentro de la Sección Argentina de la Asociación Internacional para la Educación en Energía Solar – IASEE (15 al 18 de noviembre de 2010).
- Manrique, S; Franco, J; Núñez, V y L. Seghezzo. (2009b). Alternativa bioenergética en el Valle de Lerma, Salta (Argentina). Trabajo presentado en el 1º Congreso Internacional de Ambiente y Energías Renovables. Universidad Nacional de Villa María, Córdoba. 11-13 Noviembre de 2009.
- Manrique, S; Franco, J; Núñez, V y L. Seghezzo. (2009c). Índice De Valor Combustible De Arbustales Naturales Y Su Potencialidad Como Cultivos Energéticos. *AVERMA* 13 (6): 47-56. Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique, S; Franco, J; Núñez, V y L. Seghezzo. (2009d). Stock de Biomasa y Carbono en una Zona del Chaco Occidental en el Departamento de La Viña, Salta. *AVERMA* 13 (6): 155-164. Argentina. ISSN 0329-5184.
- Northup, B.K., Zitzer, S.F., Archer, S., C.R. McMurtry y T.W. Boutton. (2005). Above-ground biomass and carbon and nitrogen content of woody species in a subtropical thornscrub parkland. *Journal of Arid Environments* 62: 23–43.
- Núñez, V. et al. (2007). Avances del proyecto CIUNSA 1345: Pautas para el ordenamiento territorial del Valle de Lerma. Parte II. Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Salta.
- Oelbermann, M., Voroney P. Y A.M. Gordon. (2004). Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. *Review. Agriculture, Ecosystems and Environment* 104 : 359–377.
- Pfaff, A.S.P., Kerr S., Hughes R.F., Liu S., Sanchez–Azofeifa G.A., Schimel D., Tosi J., Watson V. (2000). The Kyoto protocol and payments for tropical forest: An interdisciplinary method for estimating carbon-offset supply and increasing the feasibility of a carbon market under the CDM. *Ecological Economics* 35: 203–221.
- Schlesinger, W.H. (2000). Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82: 121–127.
- Sochacki, S.J., Harper R.J., y K.R.J. Smettem. (2007). Estimation of woody biomass production from a short-rotation bio-energy system in semi-arid Australia. *Biomass and Bioenergy* 31: 608–616.
- Tan, Z., Liu S., Tieszen, L.L., Obeng, E.T. (2009). Simulated dynamics of carbon stocks driven by changes in land use, management and climate in a tropical moist ecosystem of Ghana. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 130: 171-176.
- Tsukamoto Filho, A.A. (2003). *Fixação De Carbono Em Um Sistema Agroflorestal Com Eucalipto Na Região Do Cerrado De Minas Gerais*. Viçosa, Minas Gerais – Brasil. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de Doctor Scientiae.